

И. П. Васильев, канд. техн. наук, А. Хайлиг, инж., М. Кайзер, инж.,
Ф. Динкелякер, д-р техн. наук

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ БИОТОПЛИВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКИВАНИЯ В КАМЕРУ С ПОСТОЯННЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Постановка проблемы

Одной из предполагаемых причин глобального повышения температуры на планете является увеличение выбросов парниковых газов из-за сгорания не возобновляемых источников энергии (нефти, угля, газа). Альтернативой этим топливам являются возобновляемые источники энергии. Сейчас это топлива первого поколения из биомассы: биодизельное топливо (БТ), растительные масла, биогаз. За ними последуют топлива второго поколения – синтетические топлива.

При испытаниях биотоплив в дизелях [1] было отмечено, что биотоплива из-за более высокой плотности, вязкости и поверхностного натяжения по сравнению с дизельным топливом (ДТ) имеют большую дальность брызгания, меньший угол раскрытия струи, что должно ухудшить смесеобразование и снизить показатели двигателя. Но наблюдается обратная картина: КПД двигателя улучшается и значительно снижается дымность отработавших газов (ОГ) при росте выбросов NO_x [2]. Предполагается, что это происходит благодаря увеличенному содержанию кислорода в БТ, что требует дока-

зательств.

Возникает необходимость объяснения получаемых результатов путем изучения характеристик впрыскивания этих топлив в камеру с постоянным давлением. В перспективе это позволит разработать требования к характеристикам синтетических возобновляемых топлив.

Перспективы производства возобновляемых синтетических топлив

Использование возобновляемых топлив обосновывается необходимостью снижения выбросов парниковых газов, к которым относится CO_2 .

Биотоплива, сырьем для которых может быть любая биомасса, решают эту проблему. Из биомассы производят CO и H_2 и при дальнейшем их синтезе по реакции Фишера-Тропша получают синтетические топлива. При этом промежуточным продуктом является метанол.

Вначале биотоплива могут внедриться в энергетический комплекс, а в дальнейшем, по мере истощения ископаемых энергоносителей, и заменить их (рис. 1).

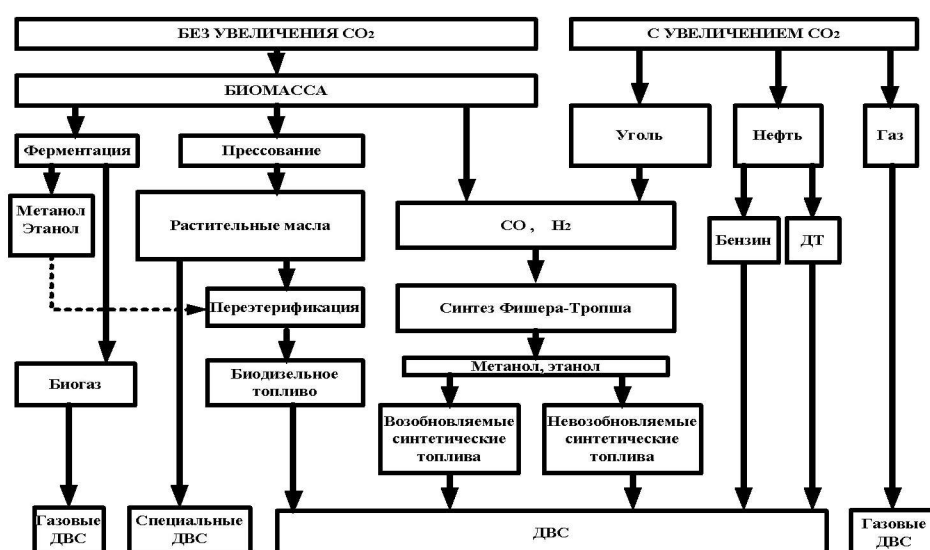


Рис. 1. Прогноз получения топлив до 2030 года

По мере совершенствования технологии возникнет вопрос о получении топлив с заданными

свойствами, отвечающими все более жестким экологическим требованиям. Имитировать получение

таких топлив возможно смешиванием различных компонентов биотоплив [3]. В частности, такими компонентами этих топлив могут быть спирты [4]. При этом открываются возможности по необходимому варьированию характеристик новых биотоплив, например, по мутагенному и канцерогенному воздействию. При этом выявлено, что синтетические топлива обладают значительно меньшим мутагенным воздействием, чем ДТ.

В связи с указанным анализ характеристик впрыскивания в камеру с постоянным давлением является важным первоначальным этапом изучения влияния свойств биотоплив на показатели двигателей.

Обоснование использования метанола как добавки в БТ

Выбор метанола, в качестве добавки, был продиктован следующими причинами:

- метанол (в перспективе биометанол) является промежуточным продуктом переработки биомассы;
- метанол является ингредиентом для получения БТ, который после протекания реакции удаляют. Предлагаемое повышенное содержание метанола ускоряет реакцию получения БТ и отпадает необходимость в такой энергоемкой технологической операции, как его удаление из БТ;

Известны исследования по изучению влияния добавки спиртов в БТ. В работе [5] исследовались смеси метанола 5, 10 и 15 % об. с БТ. Выявлено, что добавка метанола снижает температуру ОГ, содержание NO_x . Также уменьшаются ТЧ, и СН до содержания метанола 15 % об. Но при этом в ОГ растет уровень метанола, формальдегида, 1,3-бутадиена, на малых нагрузках наблюдается рост СО.

Установка для изучения впрыскивания топлив

Для исследования впрыскивания топлив использовалась установка (рис. 2), созданная в институте технического сгорания Ганноверского университета им. Лейбница (Германия). В этой работе использовался опыт оптических исследований этого института. Характеристики установки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики установки

Параметры	Значение
Распылитель MTU CR2000	
Максимальное давление впрыскивания, МПа	200
Количество отверстий распылителя	8
Диаметр отверстия распылителя, мм	0,025
Давление в камере, МПа	до 5
Температура в камере, °С	25
Объем камеры, л	46
Высокоскоростная кинокамера	MotionPro X4
Скорость съемки, кадров/с	до 80000
Выдержка, мкс	10
Фокусное расстояние, мм	25

На рис. 2 представлена схема установки. Камера квадратной формы имеет шесть круглых отверстий, на которые могут устанавливаться окна с кварцевыми стеклами диаметром 170 мм и функциональные заглушки, на которых установлены штуцер для подачи сжатого воздуха и датчики. Это обеспечивает возможность изучения впрыскивания топлива в разных плоскостях.

Сигналы от кинокамеры фиксируются и обрабатываются в компьютерах с получением результатов изменения по времени: дальности, угла раскрытия струи, продольного сечения струй, периметра струй и центра тяжести струи. Данные результаты могут быть получены, как для всех струй, так и для каждой струи отдельно.

Изменение параметров впрыскивания в данных исследованиях представлено в табл. 2.

Таблица 2. Изменение параметров впрыскивания топлив

Параметры	Значения
Давление впрыскивания, МПа	100; 140; 160
Цикловая подача топлива, мг	181; 227; 256
Давление в камере, МПа	2; 3; 4

Характеристики топлив

В качестве объектов исследования были выбраны следующие топлива: ДТ, БТ (В100), и смеси 95 об. % БТ+5 об. % CH_3OH (В95), и 85 об. % БТ+15 об. % CH_3OH (В85).

Характеристики топлив представлены в табл. 3: ρ – плотность; ν – кинематическая вязкость; Q_H – низшая теплота сгорания, σ – коэффициент поверхностного натяжения, α – коэффициент сжимаемости.

Теплота парообразования метанола составля-
ет 1100 кДж/кг, для сравнения этанола - 900, ДТ –
230...250, БТ – 300 кДж/кг.

В работе [6] отмечено, что в течение первых
300...500 мкс происходит формирование струи и
стабилизируется механизм его взаимодействия со
средой.

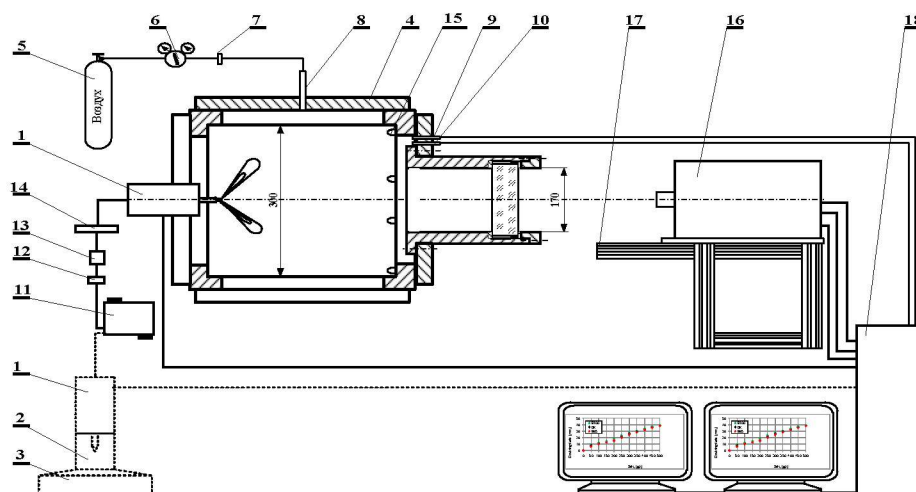


Рис. 2. Схема установки для изучения характеристик впрыскивания топлива
в камеру с постоянным давлением:

1-распылитель; 2-оправка; 3-весы; 4-камера; 5-баллон со сжатым воздухом; 6-редуктор; 7-кран; 8-штуцер; 9-датчик давления; 10-датчик температуры; 11-топливный бак; 12-топливподкачивающий насос; 13-насос высокого давления; 14-рампа; 15-светодиоды; 16-высокоскоростная камера; 17-направляющие; 18-компьютер

Таблица 3. Характеристики топлив

Характеристики	* ρ^{15}	* ν^{40}	* Q_H	σ^{20}	a^{20}	*Содержание метанола	
	г/см ³	мм ² /с	кДж/кг	мН/м	10 ¹¹ Па ⁻¹	масс. %	об. %
ДТ	0,835	2,667	42433	27	61,1		
B100 (EN 14214)	0,883	4,404	37437	30,6	57	0,01	0,011
B95	0,8793	3,919	36547			4,2	4,7
B85	0,8711	2,924	34894			13,2	14,5
Отличие B100 к ДТ, %	-5,7	-65,1	11,8	-13,3	6,7		
Отличие B95 к ДТ, %	-5,3	-46,9	13,9				
Отличие B85 к ДТ, %	-4,3	-9,6	17,8				
CH ₃ OH	0,7915	0,754	19900	22,6			

*Анализы выполнены в ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH (Германия).

В большинстве конструкций камер сгорания
определяющим фактором являются процессы, про-
ходящие до контакта струи со стенкой камеры сго-
рания (рис. 3).

Поэтому из зафиксированных 1800 мкс вре-
мени впрыскивания ограничили изучением на-
чальных 500 мкс.

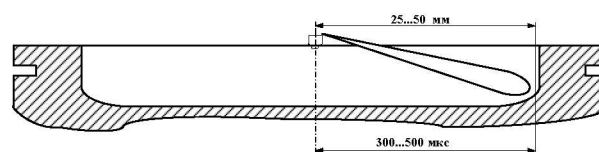


Рис. 3. Схема впрыскивания топлива в КС

Характеристики впрыскивания топлив

Зависимости дальности струй от времени впрыскивания для разных топлив представлены на рис. 4.

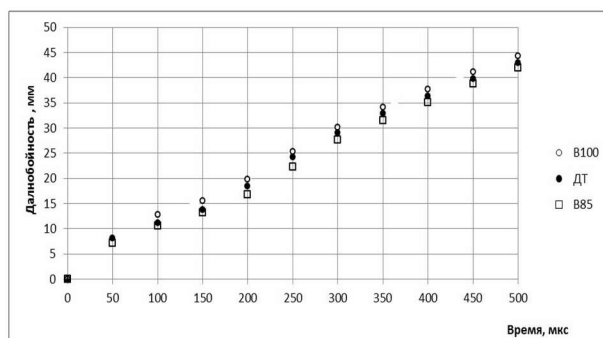


Рис. 4. Дальность струй при давлении впрыскивания 140 МПа в камеру с давлением 3 МПа

Дальность струй БТ наибольшая, при этом угол струи у БТ уменьшается по сравнению с ДТ, но растет площадь поперечного сечения и периметр струи.

Был произведен расчет поверхности и объема струй при цикловой подаче топлива 227 мг. Выявлено, что комбинация этих параметров приводит к росту объема и поверхности струи БТ по сравнению с ДТ (рис. 5).

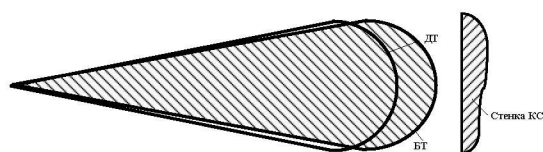


Рис. 5. Поперечные сечения струй ДТ и БТ

На рис. 6, 7 представлено изменение площади поверхности (S_{spray}) и объема (V_{spray}) струй различных топлив.

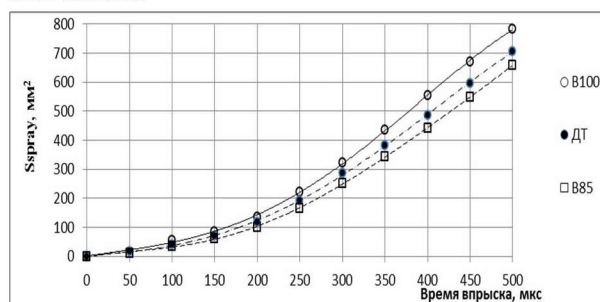


Рис. 6. Изменение площади поверхности S_{spray} струй

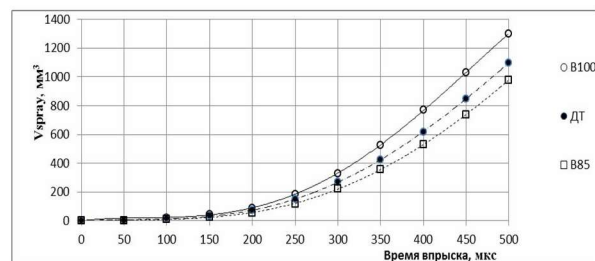


Рис. 7. Изменение объема V_{spray} струй

В реальном процессе объем впрыснутого БТ увеличивается до 257 мг, что увеличивает это отличие еще больше.

Определение поверхности и объема капель струй по диаметру Заутера (d_{32})

Расчет выявил, что d_{32} БТ больше, чем ДТ [7]. Предположительно это должно привести к значительному увеличению общей поверхности капель ДТ по сравнению с БТ. Но из-за увеличения впрыснутого объема БТ наблюдается несколько другая картина, которая упрощенно представлена на рис. 8.

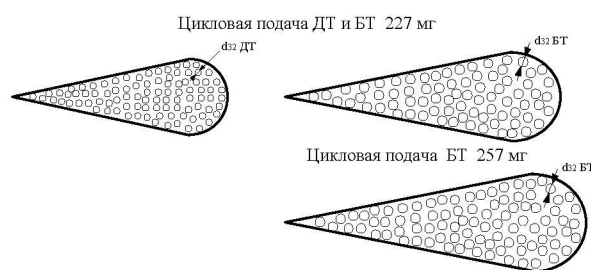


Рис. 8. Упрощенные схемы струй ДТ и БТ

Отличие БТ по отношению к ДТ при цикловой подаче топлива 227 мг при 500 мкс по объему капель на 3% больше, но по площади капель на 20% меньше. При увеличенной подаче БТ до 257 мг, это отличие улучшается в сторону БТ. Отличие БТ по отношению к ДТ по объему капель на 9,8% больше, а по площади капель на 16,1% меньше.

Испытания B85 в сравнении с B100 выявили снижение средней температуры в КС на 47°C и уменьшение NOx на 11,6 %.

Заключение

Выявлено, что хотя дальность струй БТ по сравнению с ДТ увеличивается и уменьшается угол раскрытия струи, но это до контакта струи со стенкой камеры сгорания приводит к увеличению объема и поверхности струи, что улучшает подготовку топлива к сгоранию и обеспечивает повышение

КПД. Увеличение NOx возможно снизить добавкой метанола в БТ.

Список литературы:

1. Осетров О. О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4С12/14, що працює на біопаливах: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О. О. Осетров. – Харків, 2005. – 20 с. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselmotorkraftstoffen / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotorenverfahren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Баев В. К. О кумулятивном механизме развития высоконапорной топливной струи / В. К. Баев., А. А. Бузукоев., А. Н. Бажайкин, Б. П. Тимошенко // Двигателестроение. – 1981. – №2. – С. 8–12. 7. Колодницька Р. В. Моделювання

розтілювання біодизельного палива на основі конопляної олії / Р. В. Колодницька // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Дала. – 2010. – №6 (148) – С. 41–46.

Bibliography (transliterated):

1. Osetrov O. O. Polipshennja tehniko-ekonomichnih pokaznikiv dizelja 4Ch12/14, wo praojue na biopalivah: avtoref. dis. na zdobuttja stupenja kand. teh. nauk: spec. 05.05.03 «Dviguni ta energetichni ustanovki» / O. O. Osetrov. – Har'kiv, 2005. – 20 s. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselmotorkraftstoffen / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotorenverfahren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Baev V. K. O kumulativnom mehanizme razvittja vysokopornoj toplivnoj strui / V. K. Baev., A. A. Buzukov., A. N. Bazhajkin, B. P. Timoshenko // Dvigatelsestroenie. – 1981. – №2. – S. 8–12. 7. Kolodnic ka R. V. Modeljuvannja rozpiljuvannja biodizel'nogo paliva na osnovi konopl'janoj olii / R. V. Kolodnic ka // Visnik Shidnoukraïnskogo na-cional'nogo universitetu im. V. Dalja. – 2010. – №6 (148) – S. 41–46.

УДК 621.43:662.6

А.В. Иващенко, асп., В.Н. Горячкин, канд. техн. наук

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ КАПЕЛЬ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ВЫХОДЕ ИЗ ФОРСУНКИ

Введение

Рост энергетических потребностей человечества, наблюдаемый в последние годы, влечет за собой увеличение загрязнения окружающей среды, истощение энергоресурсов и может привести к энергетическому кризису. Активные поиски альтернативных видов топлива, которые могли бы использоваться в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и соответствовали условиям полного сгорания с максимальным выделением теплоты, ведутся во многих странах мира [1].

Вместе с тем теплофизические и физико-химические свойства традиционных нефтяных и альтернативных топлив отличаются, что приводит к изменению рабочих характеристик оборудования. Так, например, согласно [2] параметры факела распыленного топлива (угол раскрытия, длина, дальность, размер образованных капель) зависят от плотности, вязкости, поверхностного натяжения топлива, на котором работает двигатель. Процесс воспламенения и сгорания топлива также зависит

от его состава, теплоты сгорания, скорости образования паров, определяемой давлением насыщения, теплопроводности, диффузии. Результаты исследования свойств смеси дизельного топлива и рапсового масла приведены в [3].

Данная работа посвящена исследованию влияния свойств биотопливной смеси (ТС), состоящей из рапсового масла (РМ) и дизельного топлива (ДТ), на дисперсный состав топливного факела, образующегося на выходе из форсунки дизельного двигателя.

Постановка задачи исследований

Проведение исследований по распыливанию топлива, а особенно, по определению размеров и количества капель, является сложной и трудоемкой задачей. Существуют различные методы для ее решения: микрокиносъемка капли в факеле [4], фотометрический метод [5], впрыскивание расплавленного парафина с последующим замораживанием капель и просеиванием их через сита [6], сидентометрический метод [7], улавливание капель